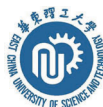
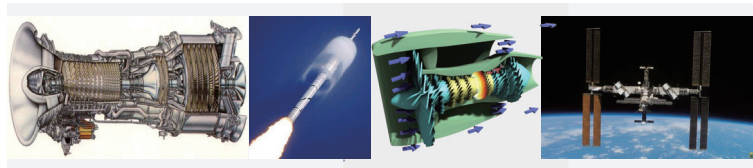


第7章 传热的基本形式和机理



机械与动力工程学院

曹 军

2020年10月

7-1 热量传递的基本方式

7-2 传热过程

7-3 小结



热工基础 之 传热学



热能传递的三种基本方式

7-1

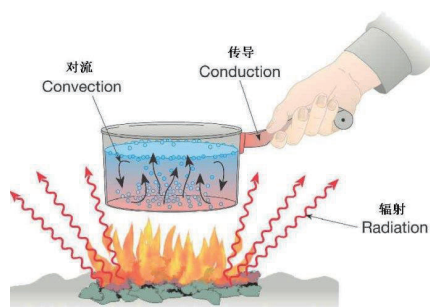
热量传递的基本方式

热
传导热
对流热
辐射

热能传递的三种基本方式①-热传导

热传导(Heat conduction)

物体各部分之间不发生相对位移时，依靠分子、原子及自由电子等微观粒子的热运动而产生的热能传递，简称导热。



热能传递的三种基本方式①-热传导

傅里叶定律(Fourier Law)

单位时间内通过一定面积的导热热量与当地的温度变化率及平面面积成正比，也即：

$$\Phi = -\lambda A \frac{dt}{dx} \quad \text{一维稳态导热}$$

Φ ：热流量(Heat transfer rate)，单位 W

A：平面面积，单位 m^2

λ ：热导率，又称导热系数(Thermal conductivity)，单位：W/(m·K)

负号表示热量传递方向与温度升高的方向相反



热能传递的三种基本方式①-热流密度

单位时间内通过单位面积的导热热量称为**热流密度** (单位: W/m^2) :

$$q = -\lambda \frac{dt}{dx}$$

当温度沿x方向增加时, $\frac{dt}{dx} > 0$ $q < 0$ 热量沿着x减小的方向传递。

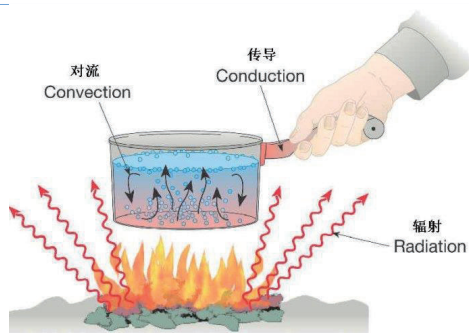
当温度沿x方向减小时, $\frac{dt}{dx} < 0$ $q > 0$ 热量沿着x增大的方向传递。



热能传递的三种基本方式②-热对流

热对流 (Heat convection)

由于物体的宏观运动而引起的流体各部分之间发生相对位移, 冷、热流体相互掺混所导致的热量传递过程。



热能传递的三种基本方式②-热对流

牛顿冷却公式 $q = h \cdot \Delta t$

流体被加热时: $q = h \cdot (t_w - t_f)$

流体被冷却时: $q = h \cdot (t_f - t_w)$

t_w t_f : 分别表示壁面温度和流体温度

对流
传热

自然对流(Natural convection)

强制对流(Forced convection)



热能传递的三种基本方式①-导热系数

导热系数 Heat conduction coefficient

- 表征材料导热性能优劣的参数, 是一种**热物性参数** (Thermo-physical property), 单位: $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$
- 不同材料的导热系数值不同, 即使是同一种材料, 导热系数还与温度等因素相关。



热能传递的三种基本方式②-热对流

牛顿冷却公式(Newton's Law of cooling)

$$\Phi = h \cdot A \cdot \Delta t$$

h : 表面传热系数(Convective heat transfer coefficient)

又称为对流换热系数, 单位: $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

Δt : 温差, 恒取正值。

- ◆ 表面换热系数的大小与对流换热过程的诸多因素相关;
- ◆ 影响因素: 流体物性, 换热表面的形状、大小与布置, 流速等。

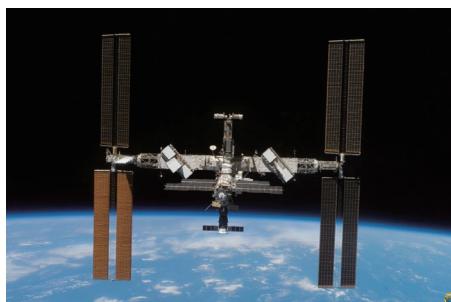


热能传递的三种基本方式③-热辐射

热辐射 (Radiative heat transfer)

物体通过电磁波来传递能量的方式称为**辐射**。

物体因热的原因而发出辐射能的现象称为**热辐射**。





热能传递的三种基本方式③-热辐射

- ◆ 自然界中各个物体都不停的向空间发出热辐射，同时又不断地吸收其它物体发出的热辐射。辐射与吸收过程的**综合结果**造成了辐射传热。
- ◆ 导热与对流只有在有物质存在的条件下才能实现，热辐射可以在**真空中**传递，且在真空中辐射能的传递最有效。
- ◆ 辐射不仅产生**能量的转移**，而且还伴随着**能量形式的转换**，即发射时从热能转换为辐射能，被吸收时又从辐射能转换为热能。



热能传递的三种基本方式③-热辐射

一切实际物体的辐射能力都**小于**同温度下的黑体。

实际物体的辐射热流量：

$$\Phi = \varepsilon A \sigma T^4$$

ε ：物体的**发射率**，又被称为**黑度(Emissivity)**

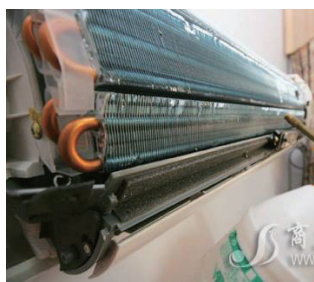
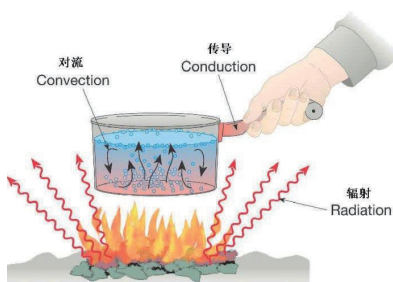
- ε 的值总是小于1,与物体的种类及表面状态相关。
- Φ 是物体自身**向外辐射**的热流量，不是辐射传热量，计算辐射传热量还要考虑投射到物体上的辐射热量的**吸收过程**。

辐射传热计算的基础



热能的综合传递过程

实际的热能传递过程往往是几种传热方式的综合作用。



热能传递的三种基本方式③-热辐射

绝对黑体(Black body)：

能吸收投入到其表面上的**所有**热辐射能的物体，简称黑体。

斯特藩-玻尔兹曼定律(Stefan-Boltzmann Law)

$$\Phi = A \sigma T^4$$

Φ ：黑体在单位时间内发出的辐射换热量，W。

T ：黑体的热力学温度，K

σ ：斯特藩-玻尔兹曼常数，即黑体辐射常数， $5.67 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$

A ：辐射表面积， m^2



热工基础之传热学

7-2

传热过程



传热过程的定义

在实际生活及工业换热设备中，普遍存在冷，热流体分别位于固体壁面两侧的传热过程。

传热过程(Overall heat transfer process)：

热量由壁面一侧的流体通过壁面传到另一侧流体中去的过程

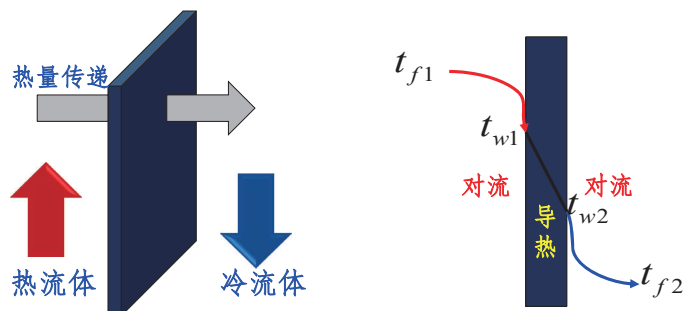
- 传热过程是工程技术中经常遇到的一种典型热量传递过程，是热量传递过程中一种特殊的形式。



传热过程的定义

传热过程 (Overall heat transfer process):

热量由壁面一侧的流体通过壁面传到另一侧流体中去的过程



传热方程式

$$\begin{aligned}\Phi &= Ah_1(t_{f1} - t_{w1}) && t_{f1} - t_{w1} = \frac{\Phi}{Ah_1} \\ \Phi &= \frac{A\lambda}{\delta}(t_{w1} - t_{w2}) && t_{w1} - t_{w2} = \frac{\Phi}{A\lambda/\delta} \\ \Phi &= Ah_2(t_{w2} - t_{f2}) && t_{w2} - t_{f2} = \frac{\Phi}{Ah_2}\end{aligned}$$

$$\Phi = \frac{A(t_{f1} - t_{f2})}{\frac{1}{h_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{h_2}}$$



传热方程式

$$\Phi = \frac{A(t_{f1} - t_{f2})}{\frac{1}{h_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{h_2}} \quad k = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{h_2}}$$

传热方程式

$$\Phi = Ak(t_{f1} - t_{f2})$$

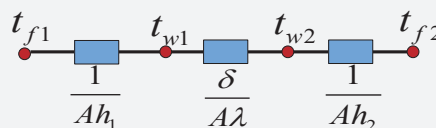
- ◆ K称为**传热系数**(Overall heat transfer coefficient), 是传热过程强烈程度的标尺。
- ◆ 传热过程越强烈, 传热系数越大, 反之越小。
- ◆ 传热系数的大小不仅仅取决于参与传热过程的两种流体的种类, 还与过程本身有关, 如流速大小, 有无相变等。



传热热阻

$$k = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{h_2}} \quad \frac{1}{k} = \frac{1}{h_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{h_2}$$

$$\Phi = Ak(t_{f1} - t_{f2}) \quad \Phi = \frac{\Delta t}{1/(Ak)} \quad I = \frac{\Delta U}{R}$$



传热热阻

传热过程热阻

$$\frac{1}{Ak} = \frac{1}{Ah_1} + \frac{\delta}{A\lambda} + \frac{1}{Ah_2} \quad \text{单位 K/W}$$

面积热阻

$$\frac{\delta}{\lambda} \quad \frac{1}{h} \quad \text{单位 m}^2 \text{ K/W}$$

Thank you!

